



PRODUCCIÓN DE ETANOL Y COPRODUCTOS CON RESIDUOS FORESTALES DE PINO

Leonidas Carrasco Letelier⁵, Silvia Böthig¹,
Fernando Bonfiglio¹, Solange I. Mussatto⁴,
Matías Cagno¹, Fabiana Rey¹, Carlos Andrés Doune²,
Fernando Resquin³, Nikolai Guchin²

¹ Latitud - Fundación LATU

² Negocios Agroindustriales, ANCAP

³ Programa de Producción Forestal, INIA

⁴ Novo Nordisk Foundation Center for Biosustainability,
Technical University of Denmark, DTU Biosustain

⁵ Programa de Producción y Sustentabilidad
Ambiental, INIA

INTRODUCCIÓN

La producción de combustibles de segunda generación ha tomado relevancia a nivel mundial, teniendo en cuenta la necesidad de reducir las emisiones de carbono a la atmósfera y también de encontrar alternativas a los recursos fósiles de naturaleza finita. En este sentido, Uruguay ya ha empezado a trabajar en el desarrollo de tecnologías para la producción de biocombustibles de segunda generación.

Sin embargo, los costos para producir estos combustibles son todavía muy elevados, por lo que existe la necesidad de desarrollar tecnologías menos costosas, capaces de generar mejores beneficios en una escala industrial. Una manera de contribuir a la viabilidad económica de los combustibles de segunda generación es a través del desarrollo de biorrefinerías. Esta estrategia maximiza la producción de compuestos de alto valor agregado para cofinanciar la producción de otros, como el bioetanol.

RESTOS DE COSECHA FORESTAL

De acuerdo a datos de la DGF-MGAP, actualmente existen unas 260.000 hectáreas (ha) de pino concentradas en los departamentos de Tacuarembó, Rivera, Paysandú, Durazno y Cerro Largo. Esas plantaciones tienen como destino la producción de madera sólida con varias cosechas (intermedias y final) a lo largo del ciclo del cultivo. Las especies plantadas son *Pinus taeda* y *Pinus elliotti* en una relación de 70 y 30%, respectivamente. Las cosechas intermedias (raleos) se producen alrededor de los años 11 y 18 y la tasa rasa próximo a los años 22 a 25. Por el tipo de aprovechamiento, la parte procesable del fuste está comprendida desde la base hasta un diámetro con corteza de aproximadamente 24 cm a partir del cual, en la mayoría de los casos, no tiene un uso comercial, permaneciendo en campo. Esto determina un grado de aprovechamiento del fuste de 60%, el cual es bajo comparado con las plantaciones de *Eucalyptus* en las que esta porción del árbol tiene un destino celulósico.

De acuerdo con estimaciones realizadas por el proyecto PROBIO (2015) las cantidades de biomasa residual en la tala rasa, primer y segundo raleo comercial son de 70, 17 y 19 toneladas secas por hectárea, respectivamente. Esta biomasa está compuesta por las fracciones madera, corteza, ramas y acículas (hojas) en distintas proporciones dependiendo del momento de extracción (cosecha final o intermedias). En promedio, la madera con corteza representa alrededor del 30% del peso total de residuos que permanecen en campo después de la cosecha (cálculo realizado asumiendo un valor de diámetro comercial en punta fina de 19 cm); lo cual determina que la disponibilidad de biomasa con los sistemas actuales de aprovechamiento del fuste sea mayor a la referida anteriormente.

EXTRACCIÓN DE LOS RESIDUOS DE COSECHA FORESTAL

Los resultados empíricos muestran que el grado de extracción de esa biomasa residual de cosecha forestal, por razones logísticas y de sustentabilidad del sistema, es del orden de 60 a 80% del total del material residual obtenido en la cosecha comercial. Este nivel de aprovechamiento se reduce en la medida que se utilice la madera con corteza y la porción de ramas y hojas de la parte superior del fuste (menor a 22-24 cm). Desde el punto de vista de la extracción de nutrientes, las hojas y las ramas concentran en buena medida algunos minerales como el nitrógeno, potasio y calcio. Por tanto, el uso de estas fracciones reduciría el reciclado de nutrientes provocando una exportación de los mismos del sistema. Por otro lado, teniendo en cuenta la baja relación peso/volumen que presentan estas fracciones, la recolección y extracción de los mismos requieren del uso de una maquinaria específica (forwarder para residuos, chipeadora, etc.) lo que eleva los costos de cada tonelada de biomasa cosechada. A su vez, este tipo de

materiales cumplen la función de protección de suelo de la compactación producida por la maquinaria durante la cosecha y de la erosión producida por la lluvia, en particular en las etapas comprendidas entre la tala rasa y el cierre de copa del siguiente turno. Estas razones determinan que, a priori, las fracciones que presentan el mayor interés para su utilización como materia prima para la producción de biocombustibles y derivados sea la madera con corteza.

SISTEMAS DE COSECHA Y DISPONIBILIDAD DE RESIDUOS DE COSECHA

Tanto en la tala rasa como en los raleos comerciales, los sistemas de cosecha utilizados (CTL o *full tree*) implican que el árbol sea apeado, trozado y posteriormente apilado. En este esquema, la cosecha y extracción de la madera con destino a la producción de combustibles podría realizarse con el mismo tipo de maquinaria que el utilizado actualmente, y a un reducido costo, comparado con las alternativas de extracción de todos los residuos incluyendo el resto de la copa. Según datos suministrados por las empresas (que incluyen a las plantaciones del litoral oeste) en el año 2015 se cosecharon (mediante tala rasa y raleos) unas 9500 hectáreas de pino. Estas estimaciones presentan una disponibilidad media de biomasa residual por año próxima a las 60.000 toneladas, de mantenerse la superficie actualmente plantada. Teniendo en cuenta que las inversiones forestales son de turnos relativamente prolongados se prevé que la misma esté disponible en los próximos 20 a 25 años. Esta biomasa está concentrada en distancias relativamente cortas (un radio aproximado de 50 km) lo cual reduce los costos de un emprendimiento de este tipo.





Las operaciones de cosecha forestal no tienen una estacionalidad marcada, aunque durante los meses de invierno se ven reducidas debido a los efectos negativos que provoca la maquinaria en las condiciones del suelo. Esto resulta en que la disponibilidad de biomasa es más o menos constante a lo largo del año, con la particularidad de que la misma debe ser almacenada en sitios de acopio para el secado previo a su uso en planta. No obstante, importa señalar que se prevé que en los próximos años parte de esta superficie sea sustituida con especies de eucaliptos, en particular en la zona norte. Si bien esa porción del fuste en las plantaciones de *E. grandis* en la actualidad tiene un destino celulósico, también podrían eventualmente ser una materia prima para la producción de biocombustibles.

BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN

Diferentes tecnologías de pretratamiento del material lignocelulósico están siendo probadas en el mundo y están abriendo el paso a la implementación de plantas de producción de biocombustibles líquidos de segunda generación a nivel demostrativo.

La producción de estos biocombustibles ha ganado relevancia a nivel mundial, y en el caso de Uruguay también se ha empezado a trabajar en la evaluación de tecnologías para su producción. De acuerdo con un estudio reciente realizado por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas de España, a solicitud de Alur S.A.¹, el uso de biocombustibles en el sector del transporte en Uruguay ha logrado

una reducción del 7% en las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, los costos para producir combustibles de segunda generación son todavía muy elevados y existe la necesidad de desarrollar tecnologías de más bajo costo, capaces de aportar mejores beneficios en una escala industrial. Estudios de análisis técnico económico han revelado que la etapa de pretratamiento de la biomasa es la que más contribuye para los costos del proceso en general, poniendo énfasis en la necesidad de encontrar alternativas de proceso que sean eficientes y menos costosas.

Por este motivo, el desarrollo de biorrefinerías es una estrategia central para encontrar la viabilidad económica para la generación de los combustibles de segunda generación, maximizando el uso de las fracciones de la biomasa para la producción de compuestos de interés industrial. En este sentido, los compuestos químicos, incluyendo ácidos orgánicos y compuestos con aplicaciones en el área de alimentos, están entre los más atractivos para incorporación en biorrefinerías, debido al elevado valor agregado y numerosas aplicaciones que poseen.

Como fuera mencionado, el pretratamiento es uno de los procesos más desafiantes para la producción de bioetanol a partir de material lignocelulósico. En esta etapa el objetivo es romper la estructura de la lignocelulosa para hacer más accesible la celulosa a la acción de las enzimas durante la hidrólisis, y posterior fermentación de los azúcares para producir etanol. Generalmente, al mismo tiempo que son degradadas y/o solubilizadas la lignina y la hemicelulosa, se reduce la cristalinidad de la celulosa, lo que también favorece el siguiente paso de hidrólisis.



¹<https://www.presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/alur-biocombustibles-ambiente>

Durante el transcurso del pretratamiento -y dependiendo de este- también se producen compuestos químicos que son inhibitorios de la etapa de fermentación para la producción de bioetanol. La explosión por vapor (*steam explosion*) es un pretratamiento donde la biomasa es sometida a vapor presurizado por una determinada cantidad de tiempo (segundos a minutos) y luego despresurizada repentinamente. La biomasa no solo es expuesta a fuerzas físicas, sino que también sucede lo que se llama autohidrólisis, ya que durante el proceso es formado ácido acético.

DESCRIPCIÓN DEL NUEVO PROYECTO

En Uruguay existen unas 180.000 ha de pino plantadas en los departamentos de Tacuarembó y Rivera, lo cual permite obtener biomasa que está concentrada en un radio aproximado de unos 50 km. Por el tipo de procesamiento, el grado de aprovechamiento del fuste es bajo, permaneciendo en el campo una proporción importante del fuste. Esto motivó a la postulación del proyecto "Desarrollo de estrategias tecnológicas y análisis de sustentabilidad para producción de etanol y coproductos de valor en Uruguay" al Fondo Sectorial de Energía 2017, que recientemente fue aprobada y comienza a ejecutarse en los próximos meses.

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar estrategias tecnológicas que puedan resultar en una mejor viabilidad económica del proceso de producción de etanol de segunda generación en Uruguay, en especial para el aprovechamiento de residuos de cosecha de pino. Se prevén tres componentes de trabajo: (1) pretratamiento de la biomasa de pino, hidrólisis de los azúcares y fermentación alcohólica; (2) producción de distintos coproductos de interés industrial por fermentación de fase líquida proveniente de la etapa de pretratamiento y (3) análisis de sustentabilidad del uso de residuos de cosecha de pino en una biorrefinería en Uruguay.

En este proyecto participan el Centro de Investigaciones en Biocombustibles de segunda generación (formado por Latitud - Fundación LATU y ANCAP), y la Universidad Técnica de Dinamarca (a través del Novo Nordisk Foundation Center for Biosustainability), además de INIA. Esta investigación aportará mayor conocimiento sobre una materia prima de gran importancia, complementando y potenciando otras investigaciones. El desarrollo de tecnologías de procesos para producción de compuestos de valor a partir de biomasa es un tema de gran relevancia en la actualidad teniendo en cuenta aspectos económicos y ambientales. En este sentido, el grupo de investigación en Dinamarca ha trabajado fuertemente en el desarrollo de tecnologías de procesos que promuevan el desarrollo de la bioeconomía a través de la producción de distintos compuestos de interés industrial a partir de biomasa.

El amplio conocimiento del grupo en el tema y la disponibilidad de equipos de alta tecnología será fundamental

para el éxito de la etapa de producción de coproductos de valor a partir del hidrolizado de madera de pino. Sin embargo, como las características de los hidrolizados varían de acuerdo con la biomasa y condiciones de proceso utilizado para pretratamiento, el proyecto en contrapartida posibilitará al grupo de Dinamarca ampliar los conocimientos en el área, principalmente en lo que se refiere al uso de biomasa de pino para bioprocesos. Además de los aspectos técnicos y científicos, que resultarán en nuevos conocimientos y beneficios para todas las instituciones involucradas, la cooperación internacional será también de gran relevancia pues posibilitará estrechar las relaciones entre los países y grupos de investigación, ampliando el intercambio de conocimientos y favoreciendo trabajos futuros en cooperación.

Entre los posibles coproductos de interés será evaluada la producción de colorantes (carotenoides), compuestos de aroma, ácido láctico y xilitol, los cuales tienen amplias aplicaciones industriales y podrían ser de interés, tanto para el mercado nacional como internacional. Serán desarrolladas tecnologías y estrategias de fermentación capaces de resultar en elevada producción del compuesto de interés. Para eso, se hará una selección de los microorganismos con mejores características para aplicación en cada proceso; serán estudiadas diferentes condiciones de fermentación de manera de obtener elevada producción del compuesto de interés para su incorporación en una potencial biorrefinería de etanol en Uruguay.

En forma complementaria, INIA cuantificará la disponibilidad actual y en largo plazo de la cantidad de residuos de pino por hectárea de las cosechas (intermedias y finales) en las regiones de Tacuarembó y Rivera; cartografiará estos recursos en un radio aproximado a los 50 km; estimará los costos de extracción (recolección) y transporte a una planta en la región; estimará el balance energético y ajustará las ecuaciones para predecir la disponibilidad de residuos en función de parámetros del crecimiento de los árboles.

